



**Pengembangan Sistem Navigasi pada Robot AGV *Line Follower* menjadi Navigasi SLAM untuk Meningkatkan
Fleksibilitas Operasional di PT Akebono**

SKRIPSI

Skripsi Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik & Ilmu Komputer
Universitas Global Jakarta



Disusun Oleh:

Nama : Rio Handoko

NIM : 092023090444

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA**

2024

**Pengembangan Sistem Navigasi pada Robot AGV *Line Follower* menjadi
Navigasi SLAM untuk Meningkatkan Fleksibilitas Operasional di PT
Akebono**

Disusun Oleh:

Nama : Rio Handoko

NIM : 092023090444

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK & ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS GLOBAL JAKARTA
2024**

Depok, 29 Juli 2025

Menyetujui Pembimbing,



Ariep Jaenul, S.Pd., M.Sc.Eng

0320019502

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Depok, 29 Juli 2025

Mahasiswa,



Rio Handoko

092023090444

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rio Handoko
NIM : 092023090444
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Pengembangan Sistem Navigasi pada Robot AGV
Line Follower menjadi Navigasi SLAM untuk Meningkatkan Fleksibilitas
Operasional di PT Akebono

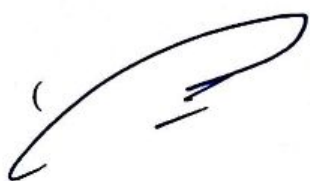
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Arie Jaenul, S.Pd., M.Sc.Eng ()

Pembimbing 2 : Brainvendra Widi Dionova ()
S.ST., M.Sc.Eng

Mengetahui,

Ketua Program Studi : Brainvendra Widi Dionova ()
S.ST., M.Sc.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juli 2025

HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rio Handoko
NIM : 092023090444
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Pengembangan Sistem Navigasi pada Robot AGV
Line Follower menjadi Navigasi SLAM untuk Meningkatkan Fleksibilitas
Operasional di PT Akebono

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta.

DEWAN PENGUJI

Penguji 1	: Sinka Wilyanti, S.T., M.T	()
Penguji 2	: Arisa Olivia Putri, S.ST., M.IT	()
Penguji 3	: Devan Junesco V, S.ST., M.Sc.Eng	()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juli 2025

KATA PENGANTAR

Dengan rahmat dan karunia Tuhan Yang Maha Esa, penulis mengucapkan syukur atas terselesaikannya skripsi ini yang berjudul “Pengembangan Sistem Navigasi pada Robot AGV *Line Follower* menjadi Navigasi SLAM untuk Meningkatkan Fleksibilitas Operasional di PT Akebono.” Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi jenjang Strata 1 pada Program Studi Teknik Elektro, Universitas Global Jakarta.

Tujuan dari penyusunan skripsi ini adalah untuk memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem navigasi robot AGV, khususnya dalam meningkatkan fleksibilitas operasional dengan memanfaatkan teknologi *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM). Penelitian ini diharapkan dapat memperluas wawasan mengenai penerapan sistem navigasi otonom berbasis SLAM dan perbandingannya dengan sistem *Line Follower* konvensional, serta memberikan solusi yang relevan dalam mendukung efisiensi operasional industri di PT Akebono.

Penulis menyadari bahwa tersusunnya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga tercinta, atas segala doa, semangat, dan dukungan moral yang tiada henti dalam mendampingi proses penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Arief Jaenul, S.Pd., M.Sc.Eng, selaku dosen pembimbing skripsi 1, atas bimbingan, masukan, dan arahnya yang sangat berarti dalam setiap tahap penelitian.
3. Bapak Brainvendra Widi Dionova S.ST., M.Sc.Eng, selaku dosen pembimbing skripsi 2, atas bimbingan, masukan, dan arahnya yang sangat berarti dalam setiap tahap penelitian.
4. Pihak Manajemen dan Supervisor di PT Akebono, atas kesempatan, fasilitas, dan data yang diberikan selama pelaksanaan penelitian serta diskusi yang membangun.
5. Bapak Taufik Irmawan, sebagai rekan kerja di industri yang memberikan banyak ilmu untuk diserap oleh penulis.

6. Bapak Syamsul Huda, sebagai rekan rekan kerja di industri yang memberikan banyak ilmu untuk diserap oleh penulis.
7. Seluruh dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Global Jakarta, atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama masa studi.
8. Rekan-rekan seperjuangan dan sahabat penulis, atas kerja sama, dukungan, dan semangat yang diberikan selama proses perkuliahan dan penyusunan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi isi maupun penyajiannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun guna perbaikan ke depannya. Semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, pihak industri, dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya sistem navigasi robot otonom.

Depok, 29 Juli 2025

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rio Handoko' with a stylized flourish at the end.

Rio Handoko

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai mahasiswa Universitas Global Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rio Handoko
NIM : 092023090444
Program Studi : Elektro
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Global Jakarta **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengembangan Sistem Navigasi pada Robot AGV *Line Follower* menjadi Navigasi SLAM untuk Meningkatkan Fleksibilitas Operasional di PT Akebono

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Global Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 29 Juli 2025

Yang menyatakan,



Rio Handoko

ABSTRAK

Sistem navigasi AGV berbasis *line follower* yang digunakan di PT Akebono memiliki keterbatasan fleksibilitas dalam menghadapi perubahan layout dan hambatan di lintasan. Jalur fisik yang digunakan oleh sistem *line follower* mengharuskan perubahan manual yang memakan waktu dan biaya, serta menyebabkan gangguan pada kelancaran operasional produksi ketika terdapat halangan yang tidak dapat dihindari oleh sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem navigasi berbasis *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) sebagai solusi alternatif yang lebih fleksibel. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dan pengumpulan data kuantitatif melalui pengujian kecepatan, akurasi, pengaruh beban, perubahan jalur belokan, serta kuisioner *user experience*. Pengujian dilakukan menggunakan prototipe AGV yang telah dimodifikasi dengan sensor LIDAR, IMU, dan *Mini PC*, serta sistem ROS sebagai platform pengendali utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem SLAM mampu beroperasi tanpa jalur fisik, melakukan navigasi ulang otomatis saat menghadapi hambatan, dan mengurangi waktu ubah jalur secara signifikan dibandingkan *line follower*. Rata-rata waktu ubah jalur pada SLAM hanya 34–37 detik, sementara *line follower* memerlukan 277–298 detik. Selain itu, SLAM mendapatkan respons positif dari pengguna dengan skor kepuasan rata-rata 4.63 dari 5. Sistem ini terbukti meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi operasional AGV di lingkungan produksi yang dinamis.

Kata kunci: sistem navigasi, SLAM, AGV, fleksibilitas operasional, *line follower*

ABSTRACT

The line follower-based AGV navigation system used at PT Akebono has limited flexibility when dealing with layout changes and path obstacles. The physical track used by the line follower system requires manual adjustment, which is time-consuming and costly, and causes operational delays when the robot encounters unavoidable obstructions. This research aims to develop a navigation system based on Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) as a more flexible alternative. The methodology used includes experimental testing and quantitative data collection through speed tests, accuracy evaluations, load simulations, turning path changes, and user experience questionnaires. The AGV prototype was modified with LIDAR sensors, IMU, Mini PC, and ROS as the main control platform. The results show that the SLAM system can operate without physical tracks, perform automatic rerouting when encountering obstacles, and significantly reduce the time needed to change paths. The average reroute time for SLAM was only 34–37 seconds, compared to 277–298 seconds for the line follower. In addition, SLAM received positive feedback from users, with an average satisfaction score of 4.63 out of 5. The system effectively enhances the flexibility and operational efficiency of AGVs in dynamic production environments.

Keywords: navigation system, SLAM, AGV, operational flexibility, line follower

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
HALAMAN PENGESAHAN DEWAN PENGUJI.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	ix
ABSTRAK.....	x
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISTILAH	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Landasan Teori.....	10
2.2.1. Teknologi AMR	10
2.2.2. Teknologi Logistik untuk Manufaktur	11
2.2.3. Sistem Navigasi untuk Logistik	11
2.2.3.1. Kelebihan dan Kekurangan Navigasi Lain	11

2.2.3.2.	Kelebihan Lidar-SLAM	12
2.2.4.	Sensor Lidar	13
2.2.5.	SLAM (<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>)	15
2.2.6.	Hector SLAM.....	15
2.2.7.	ROS (<i>Robot Operating System</i>)	17
2.2.8.	Mikrokontroler	19
2.2.9.	Uji Statistik untuk Evaluasi Kuisisioner.....	20
2.2.9.1.	Uji Validitas	20
2.2.9.2.	Uji Reliabilitas	20
2.2.9.3.	Uji T Satu Sample (<i>One-Sample T-Test</i>)	20
2.2.9.4.	Ukuran Efek (<i>Effect Size</i>).....	21
BAB III METODOLOGI.....		22
3.1.	Pendekatan Penelitian	22
3.1.1.	<i>Initial Requirements</i>	24
3.1.2.	<i>Design</i>	24
3.1.3.	<i>Prototyping</i>	25
3.1.4.	<i>Customer Evaluation</i>	25
3.1.5.	<i>Review and Updation</i>	25
3.1.6.	<i>Development</i>	25
3.1.7.	<i>Testing</i>	26
3.1.8.	<i>Maintain</i>	26
3.2.	Metode Penelitian	26
3.3.	Lokasi Penelitian.....	27
3.4.	Perancangan Sistem	28
3.4.1.	Diagram Alur Sistem.....	28
3.4.2.	Perancangan Perangkat Keras	30
3.4.3.	Perancangan Perangkat Lunak	33
3.4.4.	Perancangan Desain Sistem	33
3.5.	Pengumpulan Data	35
3.6.	Teknik Analisis Data.....	36

3.7. Tahapan Pengujian.....	38
3.8. Kuisiner <i>User Experience</i> (UX) pada Sistem AGV dengan Navigasi SLAM	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Hasil Prototipe AGV dengan Navigasi SLAM.....	46
4.2. Hasil Pengujian	52
4.2.1. Metode Validasi Data Pengujian.....	52
4.2.2. Pengujian Kecepatan.....	63
4.2.3. Pengujian Halangan	68
4.2.4. Pengujian Beban.....	74
4.2.5. Pengujian Perubahan Jalur Belokan.....	78
4.3. Hasil Kuisiner Responden.....	84
4.3.1. Identitas Responden	84
4.3.2. Hasil Analisis Statistik Kuisiner	84
4.3.2.1. Uji Validitas	84
4.3.2.2. Uji Reabilitas.....	85
4.3.2.3. <i>One Sample T-Test</i>	85
4.3.2.4. <i>One-Sample Effect Size</i>	88
4.3.3. Ringkasan Keseluruhan.....	89
BAB V PENUTUP.....	90
5.1 Kesimpulan	90
5.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN.....	96

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT Akebono adalah perusahaan manufaktur yang banyak menggunakan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi produksi dan operasionalnya. Salah satu teknologi yang digunakan yaitu AGV (*Automated Guided Vehicle*) yang berfungsi untuk mengangkut material secara otomatis di area produksi. Saat ini, sistem navigasi AGV di PT Akebono menggunakan metode navigasi *line follower*, yang bekerja dengan mengikuti jalur fisik pada lantai, seperti garis dari cat hitam dan pita magnetic (Politeknik Astra, 2024). Namun, sistem *line follower* menghadapi keterbatasan fleksibilitas. Ketika terjadi perubahan tata letak pabrik atau kerusakan pada jalur, perlu adanya perbaikan jalur atau perubahan jalur yang memakan waktu, biaya, dan pengujian kembali.

Tantangan utama dari AGV dengan navigasi *line follower* yaitu tidak memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan perubahan jalur secara cepat. Setiap adanya jalur baru yang dibuat atau diubah, perlu adanya pengujian untuk memastikan kondisi AGV agar dapat menggunakan jalur tersebut. Risiko AGV keluar dari jalur atau mengalami kesalahan navigasi selama pengujian menjadi masalah dalam menjaga kelancaran operasional (Noviardi et al., 2023). Selain risiko AGV keluar dari jalur, hal lain yang mengakibatkan penundaan siklus atau menghambat kelancaran operasional produksi yaitu ketika terdapat barang atau manusia yang melintasi ataupun menghalangi AGV pada jalurnya yang membuat AGV berhenti sampai barang atau manusia tersebut tidak menghalangi jalurnya. Oleh karena itu, solusi inovatif dibutuhkan untuk meningkatkan fleksibilitas AGV dalam mengikuti perubahan lingkungan produksi dan mengurangi risiko kesalahan navigasi atau penundaan siklus akibat hambatan yang menghalangi AGV.

Salah satu alternatif yaitu dengan menerapkan teknologi SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*). Teknologi SLAM memberikan kemampuan AGV untuk membuat peta area sekitarnya dan menentukan posisinya secara mandiri tanpa memerlukan jalur fisik yang telah ditentukan (Tampubolon et al., 2023). Dengan sensor seperti LIDAR atau kamera, AGV dengan navigasi

SLAM dapat beradaptasi lebih cepat dengan perubahan tata letak pabrik dan bergerak lebih fleksibel. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem navigasi SLAM pada AGV di PT Akebono agar dapat meningkatkan fleksibilitas operasional dan efisiensi proses produksi.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem navigasi berbasis *line follower* memiliki kelemahan, terutama pada akurasi pergerakan di tikungan tajam. Sebagai contoh, penelitian pada jurnal dengan judul “Prototipe Robot *Automatic Guided Vehicle* (AGV) *Line Follower* Dengan Metode Kendali Proportional Integral Derivative (PID)” mengembangkan prototipe robot AGV berbasis *line follower* dengan metode kendali PID, namun sistem ini sering mengalami kehilangan jalur akibat respon sensor yang tidak adaptif pada lintasan tertentu seperti lintasan belok yang tajam (Noviardi et al., 2023) . Sistem SLAM dapat mengatasi keterbatasan ini dengan memberikan kemampuan navigasi yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap lingkungan dengan perubahan dinamis. Namun, sebagian besar penelitian terkait teknologi SLAM masih berfokus pada aspek konsep pemrograman dan fungsi sistem, seperti algoritma SLAM atau pengujian di lingkungan berskala kecil. Misalnya, jurnal yang berjudul “Desain Mapping SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) Mobile Robot Menggunakan LIDAR Sebagai Navigasi Purwarupa UAV Tenaga Surya” menunjukkan potensi SLAM dalam meningkatkan navigasi robot, tetapi kurang cocok untuk diterapkan di lingkungan industri skala besar yang lebih kompleks seperti di PT Akebono (Tampubolon et al., 2023). Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kedua kelemahan tersebut dengan mengembangkan teknologi SLAM khusus untuk AGV dalam lingkungan produksi yang dinamis, sekaligus mengintegrasikan sistem sensor seperti LIDAR dalam menerapkan pada skala yang lebih kompleks seperti pada industri. Dengan pendekatan ini, diharapkan AGV dapat lebih fleksibel dalam beradaptasi dengan perubahan tata letak pabrik, mengurangi waktu *line stop* produksi, dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mengembangkan teknologi SLAM pada robot AGV *line follower*?
2. Bagaimana penerapan teknologi navigasi SLAM pada robot AGV dapat meningkatkan efisiensi navigasi dan pergerakan dibandingkan dengan sistem navigasi berbasis *line follower*?
3. Bagaimana respon pengguna atau *user experience* (UX) terhadap adanya perubahan navigasi robot AGV yang sebelumnya navigasi *line follower* menjadi navigasi SLAM?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengembangkan teknologi SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) pada robot AGV *line follower* untuk meningkatkan kemampuan navigasi robot.
2. Mengimplementasikan teknologi SLAM pada robot AGV untuk meningkatkan efisiensi pergerakan dan navigasi.
3. Mendapatkan respon atau *user experience* (UX) secara positif dari dampak adanya perubahan navigasi robot AGV yang sebelumnya navigasi *line follower* menjadi navigasi SLAM.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari adanya penelitian ini yaitu :

1. Menambah wawasan dan referensi dalam pengembangan teknologi navigasi berbasis SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) pada robot AGV, khususnya dalam aplikasi industri.
2. Meningkatkan fleksibilitas operasional pengubahan jalur melalui penerapan teknologi SLAM, sehingga dapat mengurangi waktu dan biaya terkait pengaturan ulang jalur fisik.

3. Mendorong penerapan konsep *Industry 4.0* dalam industri otomotif melalui integrasi teknologi IoT dan sistem navigasi cerdas.
4. Mengurangi kendala *line stop* produksi akibat keterlambatan robot mengantarkan barang karena mengalami keluar jalur atau hilang arah navigasi.

1.5. Batasan Masalah

1. Prototipe memiliki skala industri sebenarnya tetapi ruang lingkup yang digunakan pada pengujian pada skala prototipe atau tidak pada area industri sebenarnya.
2. Penelitian ini tidak membahas efisiensi anggaran operasional dan perbandingan biaya pada sistem baru dengan sistem lama.
3. Penelitian berfokus pada operasional sistem navigasi robot AGV dan tidak mengambil data sistem otomatis *loading-unlading* dalam robot.

DAFTAR PUSTAKA

- Binus University. (2019). Mengenal Mikrokontroler. Diakses pada 13 Januari 2025, dari <https://binus.ac.id/bandung/2019/11/mengenal-mikrokontroler/>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Crocodic. (2023). Apa itu Mikrokontroler?. Diakses pada 13 Januari 2025, dari <https://crocodic.com/apa-itu-mikrokontroler/>
- Exactitude Consultancy. (2023). SLAM Technology Market. Diakses pada 20 Desember 2024, dari <https://www.exactitudeconsultancy.com/id/reports/22952/slam-technology-market>
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (4th ed.). SAGE Publications.
- Firdaus, Z. M. (2020). *Pemodelan Kota Tiga Dimensi Menggunakan Data LIDAR dan Foto Udara dengan Metode Semi Automatis*.
- Firmansyah, R. A., Prabowo, Y. A., Suheta, T., Nanda, A., & Utomo, D. (2024). Implementation of SLAM Gmapping and Extended Kalman Filter for Security Robot Navigation System. <https://doi.org/10.23917/emitov.v24i2.3104>
- Ismail, H., Roy, R., Sheu, L. J., Chieng, W. H., & Tang, L. C. (2022). Exploration-Based SLAM (e-SLAM) for the Indoor Mobile Robot Using Lidar. *Sensors*, 22(4). <https://doi.org/10.3390/s22041689>
- Izzatullah, M. K. (2024). Implementasi Algoritma HECTOR SLAM Dalam Melakukan Pemetaan Indoor Menggunakan Robot Automated Guided Vehicle. *Telekontran*, 12(1), 11–22. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v12i1.11074>
- Kohlbrecher, S., Meyer, J., von Stryk, O., & Klingauf, U. (2011). A Flexible and Scalable SLAM System with Full 3D Motion Estimation for Mobile Robots. Dalam *Proceedings of the IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR)*, Kyoto, Jepang, 1–5 November 2011, hlm. 155–160. <https://doi.org/10.1109/SSRR.2011.6106777>

- Krisna, W., & Putra, E. (2016). Sistem Kerja Sensor Laser pada LIDAR. *Jurnal Media Komunikasi Geografi*, 17.
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Laksono, P. S., & Kusuma, T. M. (2022). Performance Analysis of Hector SLAM and Gmapping for Navigation for Mobile Robot Navigation. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 27(2), 144–153. <https://doi.org/10.35760/tr.2022.v27i2.6063>
- Lee, T. J., Kim, C. H., & Cho, D. I. D. (2019). A Monocular Vision Sensor-Based Efficient SLAM Method for Indoor Service Robots. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(1), 318–328. <https://doi.org/10.1109/TIE.2018.2826471>
- Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1–55.
- Manalu, I. P., Butarbutar, P. B., & Sigalingging, F. B. R. C. (2022). Implementasi Algoritma SLAM pada Prototipe Robot Pemotong Rumput Menggunakan Raspberry Pi. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4.
- Noviardi, M. R., Pangaribowo, T., Yuliza, & Supegina, F. (2023). Prototipe Robot Automatic Guided Vehicle (AGV) Line Follower Dengan Metode Kendali Proportional Integral Derivative (PID). *Jurnal Ilmu Teknik dan Komputer*, 7(2), 80–87. <https://doi.org/10.22441/jitkom.v7i2.001>
- Open Robotics. (2021). ROS - Robot Operating System. Diakses pada 21 Desember 2024, dari <https://ros.org/>
- Open Robotics. (2023). Open Robotics. Diakses pada 21 Desember 2024, dari <https://www.openrobotics.org/>
- PAL Robotics. (2024). ROS's RViz - PAL OS 24.9 documentation. Diakses pada 21 Desember 2024, dari <https://docs.pal-robotics.com/sdk-dev/management/rviz>
- Politeknik Astra. (2024). XL dan Politeknik Astra Jalin Kerjasama Pengembangan 5G. Diakses pada 6 Juni 2024, dari <https://www.polytechnic.astra.ac.id/xl-dan-politeknik-astra-jalin-kerjasama-pengembangan-5g/>

- Qin, H., Shao, S., Wang, T., Yu, X., Jiang, Y., & Cao, Z. (2023). Review of Autonomous Path Planning Algorithms for Mobile Robots. *Drones*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/drones7030211>
- Reshetyuk, Y. (2009). *Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning* (PhD thesis). Royal Institute of Technology (KTH).
- Shanghai Slamtec Co., Ltd. (2022). RPLIDAR A2 low cost 360 degree laser range scanner introduction and datasheet (Model: A2M12) (Version 1.0). <https://www.slamtec.com>
- Shy Destiny Deer. (2017). SDLC dengan metode prototype. Diakses pada 13 Januari 2025, dari <https://shydestinydeer.blogspot.com/2017/04/sdlc-dengan-metode-prototype.html>
- Simões, W. C. S. S., Machado, G. S., Sales, A. M. A., de Lucena, M. M., Jazdi, N., & de Lucena, V. F. (2020). A Review of Technologies and Techniques for Indoor Navigation Systems for the Visually Impaired. *Sensors* (Switzerland), 20(14), 1–35. <https://doi.org/10.3390/s20143935>
- Stereolabs. (2024). Data Display with Rviz - ROS. Diakses pada 21 Desember 2024, dari <https://www.stereolabs.com/docs/ros/rviz>
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Synapsis.id. (2024). IoT Manufacturing: Definisi dan Penerapannya di Manufaktur. Diakses pada 20 Desember 2024, dari <https://synapsis.id/iot-manufacturing.html>
- Tampubolon, D., Dewi, T., Risma, P., Elektro, T., & Sriwijaya, P. N. (2023). Desain Mapping SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) Mobile Robot Menggunakan LIDAR Sebagai Navigasi Purwarupa UAV Tenaga Surya. *JASENS*, 4(2), 47–52. <http://journal.isas.or.id/index.php/JASENS>
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53–55. <https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd>
- Types of Navigation Systems Automated Guided Vehicles. AGV Network. Diakses pada 29 November 2024, dari <https://www.agvnetwork.com/types-of-navigation-systems-automated-guided-vehicles>

- Witama Asta, & Sudiarso Andi S.T., M. T., M. Sc., Ph. D. (2016). Analisis Penerapan AGV (Automated Guided Vehicle) untuk Penanganan Material Sistem Produksi.
- Xu, X., Zhang, L., Yang, J., Cao, C., Wang, W., Ran, Y., Tan, Z., & Luo, M. (2022). A Review of Multi-Sensor Fusion SLAM Systems Based on 3D LIDAR. *Remote Sensing*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/rs14122835>
- Zafarzadeh, M., Wiktorsson, M., & Baalsrud Hauge, J. (2021). A Systematic Review on Technologies for Data-Driven Production Logistics: Their Role from a Holistic and Value Creation Perspective. *Logistics*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/logistics5020024>
- Zheng, S., Wang, J., Rizos, C., Ding, W., & El-Mowafy, A. (2023). SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) for Autonomous Driving: Concept and Analysis. *Remote Sensing*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/rs15041156>